

УДК 621.396.2(045)

<sup>1</sup>М.А. Віноградов, д-р техн.наук  
<sup>2</sup>Ю.Н. Правик

## ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМКУ НАДХОДЖЕННЯ СИГНАЛУ ЗА ДОПОМОГОЮ НЕЕКВІДИСТАНТНОЇ ЛІНІЙНОЇ РЕШІТКИ В МЕРЕЖІ МОБІЛЬНОГО ЗВ'ЯЗКУ

<sup>1</sup>Інститут комп'ютерних технологій НАУ, e-mail: iit@nau.edu.ua

<sup>2</sup>Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, e-mail: info@duikt.edu.ua

*Досліджено конструктивні особливості антен. Запропоновано алгоритм визначення напрямку надходження сигналу за допомогою нееквідистантної лінійної решітки відстанями між елементами (базами), що більші за довжину півхвилі сигналу. Розроблено частотно-територіальну методику встановлення антен базових станцій.*

### Вступ

Широке поширення мобільних систем стало наслідком активізації розробки та виробництва антен для цієї галузі. В даний час багато виробників серійно випускають велику кількість моделей антен з різними електричними та механічними характеристиками, яким властиві ті або інші конструктивні особливості. Вибір антен визначається такими основними електричними параметрами:

- діапазон робочих частот, обумовлений стандартом мобільного зв'язку;
- ширина діаграми направленості (ДН) в горизонтальній та вертикальній площинах, що вибираються залежно від кількості секторів та необхідної зони обслуговування базової станції;
- електричний нахил антени, який обмежує зону обслуговування та зменшує вплив на сусідні базові станції;
- коефіцієнт посилення, що вибирається залежно від якості зв'язку, який вимагається, та дальності обслуговування абонентів;
- поляризація випромінювання.

Серед інших електричних параметрів, що характеризують антени мобільного зв'язку, слід назвати такі:

- рівень бічних пелюстків ДН;
- рівень задньої пелюстки, розв'язку між входами (для крос-поляризаційних та багатодіапазонних антен);
- максимальну випромінювану потужність, що обмежує потужність передавача при заданій кількості каналів базової станції та визначеній величині втрати в антенно-фідерному тракті.

Конструктивні та механічні особливості антен визначаються за такими параметрами:

- масогабаритні характеристики;
- максимально допустима швидкість вітру;
- вітрове навантаження або еквівалентна площа вітрового опору;
- спосіб кріплення;
- тип та місце встановлення розніму.

При організації антенно-фідерного тракту базових станцій (БС) мобільного зв'язку різних стандартів та частотних діапазонів для підвищення якості зв'язку використовується такий прийом, як рознесення приймальної та приймально-передавальної антен в просторі на деяку відстань [1; 2].

В останній час усе частіше стали використовуватись антени з подвійною поляризацією, які дозволяють реалізовувати замість просторового рознесення за поляризацією. Однак просторове рознесення антен при організації БС на сьогодні залишається домінуючим.

При організації просторового рознесення прийому сигналу від абонента [1; 2] основну увагу направлено на забезпечення необхідного значення нормованої кореляційної функції сигналів, що приймаються двома антенами.

Даний метод оснований на тому, що приймальна та приймально-передавальна антени одного частотного діапазону розносяться в просторі на деяку відстань та прийом виникає порівнянням сигналів з двох антен. У подібному випадку оператори мобільного зв'язку дотримуються фірм-постачальників обладнання [3], які рекомендують встановлювати антени так, щоб між панельними антенами діапазону 900 МГц була відстань по горизонталі від 3 до 5 м, а між антенами діапазону 1800 МГц – від 2 до 4 м. У даному випадку ймовірність приходу одночасно на обидві антени слабого сигналу вважається суцільно малою.

### Аналіз досліджень та публікацій

У працях [1–4] аналізувався огляд перспектив використання радіохвиль у системах наземного, бортового та супутникового зв'язків, надавався аналіз досліджень поширення радіохвиль.

Закономірності утворення крос-поляризації в діаграмі направленості антени засновано на відомому визначенні Людвігом правила перетворення поляризації в діаграмі направленості антени при повороті полярної осі сферичної системи

координат, введення джерел утворення крос-поляризації в різних поляризаційних базисах [5–9].

Однак у наведених публікаціях залишаються невисвітленими питання вимірювання приходу сигналу за допомогою методу лінійних решіток, методи підвищення точності визначення кута, загальний випадок для послідовності баз, вплив похибок фази на кожній базі, похибки, що обумовлені неточністю монтажу елементів решітки. Тому в статті надаються характеристики вибірки оцінок різниці фаз, що дозволяє в рамках обраної моделі розв'язати задачу синтезу алгоритму, який забезпечує оптимальну оцінку кута приходу.

В останніх публікаціях не розглядається питання орієнтації антен відносно одна одної в просторі, уникаючи тільки ситуацій із попаданням металоелементів антен в область основного випромінювання антен.

Неправомірність такого відношення до проблем взаємного впливу антен буде розглянута на прикладі ситуацій, які зустрічаються на практиці під час установки панельних антен БС мобільного зв'язку.

#### Постановка задачі дослідження

Найбільше поширення в системах мобільного зв'язку отримали всенаправлюючі та секторні антени, що являють собою вертикальні фізичовані антенні решітки (АР) із випромінювачів того або іншого типу, які виконані у вигляді єдиної конструкції з покриттям із радіопрозорого матеріалу. Такі решітки складаються з 2–12 елементів та дозволяють забезпечити високий коефіцієнт посилення антени при ширині ДН у вертикальній площині від 5 до 90°.

Живлення елементів решітки може здійснюватися як паралельно, так і послідовно, а фазовий зсув при живленні сусідніх випромінювачів дозволяє забезпечити електричний нахил ДН від 0 до 15°.

Діаграма направленості антени в вертикальній площині поблизу основного пелюстка, як правило, апроксимується функцією вигляду  $\sin(x)/x$ .

У більшості випадків антени з подібною ДН при визначеному або механічному нахилі здатні забезпечити необхідну зону покриття базової станції.

Однак при підвішуванні висоті (більш ніж 100 м) антени на відстані приблизно 300–500 м від базової станції можуть виникнути зони з недостатньою якістю обслуговування, особливо всередині приміщень, що приходяться на мінімуми діаграми направленості [2; 3]. Це трапляється у випадках розміщення антен на телевізійних вежах, ретрансляційних щоглах або димових

трубах при встановленні базових станцій, що обслуговують великі території (зазвичай у малонаселених місцевостях).

Таким чином, метою дослідження є:

– розв'язання викладеної проблеми, де за основу береться пропонуємий підхід використання антен із нестандартними діаграмами направленості (наприклад, косеканського типу), отримання яких досягається підбором потужностей та фаз сигналів різних випромінювачів (АР);

– визначення зміни показника характеристики антени, такого як коефіцієнт стоячої хвилі у присутності другої аналогічної антени для двох різних ситуацій: коли антени орієнтовані нормально і коли повернені на 30°.

#### Теоретичний аналіз створення діаграми направленості антенної решітки

За вихідними даними може бути створена практично будь-яка форма діаграми направленості.

Природною платою за відхилення від синфазного розподілу при живленні випромінювачів АР є деяке зниження коефіцієнта посилення антени.

Досить точним та швидкодіючим є фазовий метод, який полягає у вимірюванні різниці фаз між сигналами, прийнятими сусідніми елементами АР [3]. Сутність наведеного методу зображено на рис. 1.

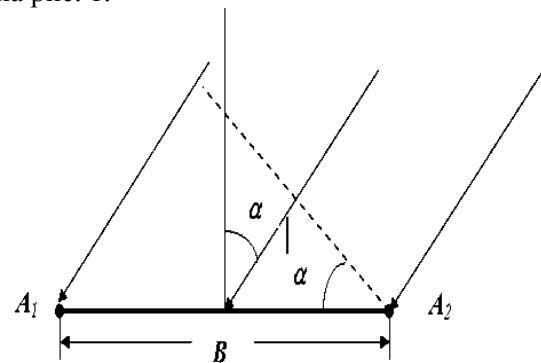


Рис. 1. Двохелементна АР

З рис. 1 видно, що повна різниця фаз між сигналами із сусідніми елементами АР дорівнює:

$$\Delta\Phi = 2\pi \frac{B}{\lambda} \sin \alpha \quad (1)$$

де  $\Delta\Phi$  – повна фаза;  $B$  – база фази;  $\lambda$  – довжина хвилі;  $\sin$  – функція апроксимації.

Різниця фаз, яку можна безпосередньо виміряти (наприклад, за допомогою перетворень Гільберта або Фур'є [4; 5]), лежить у діапазоні від  $-\pi$  до  $\pi$ . Для того, щоб різниця фаз лежала в межах виразу (1), необхідно дотримання умови:

$B \leq \frac{\lambda}{2}$ . Тільки в цьому випадку напрямок приходу сигналу може бути визначено однозначно.

Очевидним недоліком даного методу є його висока чутливість до похибки вимірювання довжини хвилі та різниці фаз:

$$\begin{aligned}\Delta(\sin\alpha) &= \Delta(f[\lambda, B, \Delta\varphi]) = \\ &= \Delta\left(\frac{\Delta\varphi\lambda}{2\pi B}\right) + \left|\frac{\partial f}{\partial\lambda}\right|\Delta\lambda + \left|\frac{\partial f}{\partial B}\right|\Delta B + \left|\frac{\partial f}{\partial\varphi}\right|\delta\varphi; \\ \Delta(\sin\alpha) &= \frac{1}{2\pi B}\left(\Delta\varphi\Delta\lambda + \lambda\delta\varphi + \frac{1}{B}\Delta\varphi\lambda\Delta B\right),\end{aligned}$$

де  $\alpha$  – функція невідомого параметра;  $\Delta f$  – дискретне перетворення;  $\varphi$  – кут приходу сигналу.

Точність визначення кута  $\varphi$  можна підвищити шляхом збільшення довжини бази АР [5].

У випадку двохелементної АР з базою, що перевищує половину довжини хвилі, різниця фаз між сигналами з сусідніх елементів може перевищити за величиною  $\pi$ , та визначення кута є неоднозначним.

### Загальний випадок для послідовності баз

Розглянемо загальний випадок для послідовності баз, коли коефіцієнт невизначеності фази для кожної наступної бази визначається за попередньою базою.

Для спрощення припустимо, що розміри баз розташовані в порядку зростання:

$$B_1 < B_2 < \dots < B_{N-1} < B_N.$$

Нехай вибір  $k_i$  для першої бази заданий. Тоді матимемо вираз:

$$k_m = \text{int}\left[\frac{B_m}{B_i}\left(k_i + \frac{\Delta\varphi_i}{2\pi}\right) - \frac{\Delta\varphi_m}{2\pi} + 0,5\right],$$

де  $B_i$  – задана база фази.

Вносячи похибку визначення часткової фази  $\delta\varphi$ , можна записати:

$$\begin{aligned}k_m &= \text{int}\left[\frac{B_m}{B_i}\left(k_i + \frac{\Delta\varphi_i \pm \delta\varphi}{2\pi}\right) - \frac{\Delta\varphi_m \pm \delta\varphi}{2\pi} + 0,5\right] = \\ &= \text{int}\left[\frac{B_m}{B_i}\left(k_i + \frac{\Delta\varphi_i}{2\pi}\right) \pm \frac{B_m}{B_i}\frac{\delta\varphi}{2\pi} - \frac{\Delta\varphi_m}{2\pi} \pm \frac{\delta\varphi}{2\pi} + 0,5\right] \quad (2)\end{aligned}$$

Таким чином, умову для максимально допустимої похибки, визначену частковою фазою  $\delta\varphi$ , яка не призведе до утворення похибок у визначенні  $k_m$  ( $\Delta k_m^{\max} = 1$ ), можна записати так:

$$\left|\frac{B_m}{B_i}\frac{\delta\varphi}{2\pi} + \frac{\delta\varphi}{2\pi}\right| = \left|\frac{\delta\varphi}{2\pi}\left(\frac{B_m}{B_i} + 1\right)\right| < 0,5,$$

де  $\delta\varphi$  – похибка часткової фази.

Ця умова визначає похибку обчислення  $k_m$ , що не перевищує одиницю (для великих баз, де  $k_m$  велике, це становить одиниці відсотків). У випадку, якщо довжини баз зростають від першої до останньої, відношення довжин останньої та першої баз буде максимальним [6]. Тоді умова для допустимої похибки вимірювання фази у випадку розрахунку коефіцієнтів тільки за першою базою така:

$$|\delta\varphi_{\max}| = \frac{\pi}{\frac{B_N}{B_1} + 1},$$

де  $N$  – кількість баз.

Однак відношення довжин сусідніх баз може бути набагато меншим, тому при розрахунках  $k_m$  за попередньою базою (а не першою) можна зробити припущення, що похибка вимірювання фази була більшою, без втрат для точності розрахунку:

$$|\delta\varphi| = \frac{\pi}{\frac{B_{i+1}}{B_i} + 1}.$$

Роздивимося похибки визначення кута залежно від різних факторів. Позначимо похибку визначення фаз на кожній базі  $\delta\varphi_i$ . Похибка від всіх параметрів у виразі (2) матиме такий вигляд:

$$\begin{aligned}\Delta_i \sin\alpha &= \left|\frac{\partial(\sin\alpha)}{\partial\lambda}\right|\Delta\lambda + \left|\frac{\partial(\sin\alpha)}{\partial B_i}\right|\Delta B_i + \\ &+ \left|\frac{\partial(\sin\alpha)}{\partial k_i}\right|\Delta k_i + \left|\frac{\partial(\sin\alpha)}{\partial\Delta\varphi_i}\right|\delta\varphi_i; \\ \Delta_i \sin\alpha &= \frac{\Delta\lambda}{B_i}\left(k_i + \frac{\Delta\varphi_i}{2\pi}\right) + \frac{\lambda\Delta B_i}{B_i^2}\left(k_i + \frac{\Delta\varphi_i}{2\pi}\right) + \\ &+ \frac{\lambda\Delta k_i}{B_i} + \frac{\lambda\delta\varphi_i}{2\pi B_i}; \\ \Delta_i \sin\alpha &= \Delta_{M_i} + \Delta_{T_i},\end{aligned}$$

де  $\Delta_M, \Delta_T$  – відповідно методичні похибки, включаючи похибки вимірювань та округлень, і технологічні похибки (точність монтажу решітки).

### Визначення методичної похибки

Методична похибка є сумою похибок, викликаних похибками визначення довжини хвилі та фази:

$$\begin{aligned}\Delta_{M_i} &= \frac{\Delta\lambda}{B_i}\left(k_i + \frac{\Delta\varphi_i}{2\pi}\right) + \frac{\lambda\Delta k_i}{B_i} + \\ &+ \frac{\lambda\delta\varphi_i}{2\pi B_i} = \Delta_{\lambda_i} + \Delta_{k_i} + \Delta_{\varphi_i}.\end{aligned} \quad (3)$$

Вплив похибки визначення фази на кожній базі виразу (3) враховує й її вплив на розрахунок коефіцієнта  $k_i$ :

$$\Delta_{\varphi_i} = \frac{\lambda \Delta k_i}{B_i} + \frac{\lambda \delta \varphi_i}{2\pi B_i}.$$

Ураховуючи, що  $\lambda \leq B_1$ , отримаємо вираз

$$\Delta_{\varphi_i} \leq \frac{B_1 \Delta k_i}{B_i} + \frac{B_1 \delta \varphi_i}{2\pi B_i}.$$

### Похибки, обумовлені неточністю монтажу елементів решітки

Роздивимося похибки, які обумовлені неточністю монтажу елементів решітки:

$$\Delta_{T_i} = \frac{\lambda \Delta B_i}{B_i^2} \left( k_i + \frac{\Delta \varphi_i}{2\pi} \right).$$

Оскільки

$$k_i^{\max} \leq \frac{k_1^{\max} B_i}{B_1}, \text{ а } \left( \frac{\Delta \varphi_i}{2\pi} \right) < 1,$$

то

$$\Delta_{T_i} \leq \frac{\lambda \Delta B_i}{B_i^2} \left( \frac{2B_i}{B_1} + 1 \right) = \frac{2\lambda \Delta B_i}{B_i B_1} + \frac{\lambda \Delta B_i}{B_i^2}.$$

Результати імітаційного моделювання з використанням реальних параметрів показали високу точність оцінки пеленгу з використанням даного алгоритму та повністю підтвердили проведені теоретичні розрахунки.

Статистичні характеристики вибірки оцінок різниці фаз дозволяють в рамках обраної моделі розв'язати задачу синтезу алгоритму, який забезпечує оптимальну оцінку кута приходу. Синтез будемо доводити методом максимальної правдоподібності [6; 7].

Нехай маємо вибірку оцінок фаз

$$\hat{\Phi} = [\hat{\varphi}_1, \hat{\varphi}_2, \dots, \hat{\varphi}_N].$$

Потрібно знайти таке значення оцінки кута приходу, яке максимізує функцію правдоподібності. Маємо теоретичну залежність фаз, отриману на кожній базі  $B_i$  (4), звідки отримаємо:

$$\varphi_i(B_i, \alpha) = 2\pi \frac{B_i}{\lambda} \sin \alpha - 2\pi k_i.$$

Можна прийняти, що кожна така оцінка фази має нормальний розподіл зі щільністю:

$$f(\hat{\varphi}_i) = \frac{1}{\sigma_{\varphi_i} \sqrt{2\pi}} \exp \left( -\frac{(\hat{\varphi}_i - \varphi_i)^2}{2\sigma_{\varphi_i}^2} \right),$$

де  $\sigma_{\varphi_i}^2$  – дисперсія оцінок за вимірюваннями.

Якщо прийняти, що всі оцінки фаз отримані з однаковою точністю, то їх дисперсія буде всюди однаковою:

$$\sigma_{\varphi_1}^2 = \sigma_{\varphi_2}^2 = \dots = \sigma_{\varphi_0}^2.$$

Спільний розподіл спостережень, що розглядається як функція невідомого параметра  $\alpha$ , називається функцією правдоподібності вибірки [7; 8]:

$$L(\varphi|\alpha) = f(\varphi_1|\alpha) f(\varphi_2|\alpha) \dots f(\varphi_N|\alpha),$$

де  $f(\varphi|\alpha)$  позначає умовну щільність неперервного розподілу.

Згідно з принципом максимуму правдоподібності [7], оцінюючи  $\alpha$ , слід узяти таке значення  $\hat{\alpha}$  з області допустимих значень, для якого функція правдоподібності приймає максимальне значення.

### Визначення варіантів встановлення антен при рознесеному прийомі

Розглянемо зміни такої характеристики антени, як коефіцієнт стоячої хвилі (КСХ) в присутності другої аналогічної антени. Як досліджуваний візьмемо антени Kathrein 735147 діапазону частот 1800 МГц (ширина діаграми направленості в горизонтальній площині за рівнем половинної потужності – 65°, у вертикальній площині – 7°, коефіцієнт посилення – 18 дБ, габарити – 1302x155x36 мм) [7] для двох різних ситуацій: коли антени орієнтовані нормально та повернуті на 30° [8].

Обрані ситуації є типовими й часто зустрічаються на практиці, але не мають огляду всього різноманіття можливих варіантів встановлення антен при рознесеному прийомі.

### Аналіз експериментального дослідження

Проведемо дослідження в діапазоні відстані між антенами, що рекомендується фірмами-постачальниками обладнання, з кроком 1 м.

Обидві антени розташовані на одному рівні по вертикалі та встановлені на металевих трубопроводах діаметром 89 мм.

При цьому можливо стверджувати, що для випадку нормальної орієнтації антен, отримані результати є справедливими для обох антен, а у випадку повороту на 30° розрахунок проводився для антени, яка виявилась “позаду” від іншої антени. На антену, що виявилась “попереду”, очевидно “задня” антена у контексті, що розглядається, не буде мати значного впливу.

Результати численного розрахунку, оснований на рішенні інтегральних рівнянь [8; 9], що описується розподілом токів по дротяних конструкціях, імітуючих реальні антени, наведені в табл. 1.

Таблиця 1

### Залежність КСХ антени Kathrein 735147 від відстані та орієнтації при рознесеному прийомі

Відстань, м	Нормальна орієнтація	Антени повернуті на 30°
2	1,04	1,53
3	1,04	1,45
4	1,03	1,37

Моделювання виконувалося із дотриманням усіх необхідних вимог, які забезпечують коректність поданих результатів [9]. При дослідженні КСХ виконувалося моделювання відповідного пристрою, що забезпечує умову СХ і дорівнює одиниці і центральній частоті при роботі антени у вільному просторі. Розміщення антен згідно з проведенням експериментом детально зображено на рис. 2.

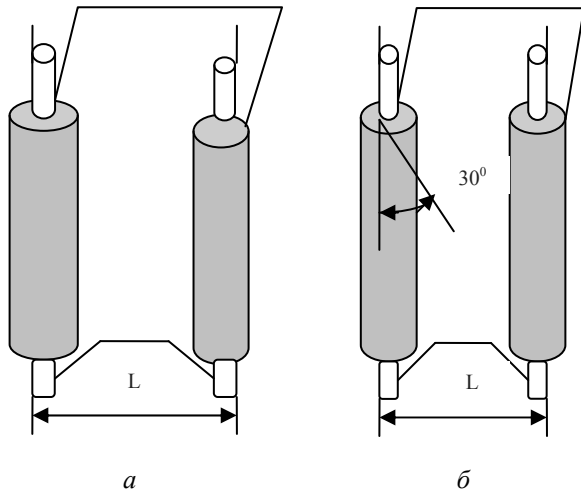


Рис. 2. Варіанти встановлення панельних антен при рознесеному прийомі:  
а – нормальна орієнтація; б – повернення на 30°

Наведені в табл. 1 результати характеризують погіршення узгодженості порівняно із ситуацією, коли узгодженість ідеально за умовою КСХ дорівнює одиниці.

За отриманими результатами, наведеними в табл. 1, можна стверджувати, що КСХ антен значно залежить від орієнтації антен, а саме від кута нахилу. Навіть дуже незначний нахил антен викликав помітне погіршення їх узгодженості (рис. 1).

Також можна стверджувати, що у випадку ще більшого нахилу антен узгодження ще більше погіршиться.

У випадку нормальної орієнтації антен КСХ антени Kathrein 735147 змінюються незначно та визначаються в основному при відносно вузькій діаграмі направленості в горизонтальній площині впливом трубоставників.

Однак за результатами розрахунків в обох випадках можна стверджувати, що зі збільшенням відстані між антенами ступінь їх взаємного впливу при рознесеному прийомі спадає. Роздивимося поведінку коефіцієнта посилення та діаграм направленості антени діапазону 1800 МГц Kathrein 735147 для трьох різних відстаней – 2,3,4 м та двох варіантів орієнтації антен – нормальної та під кутом 30°.

Як видно з наведених в табл. 2 значень коефіцієнта посилення (КП) антени, даний параметр залежить від кута повороту антени при нормальній орієнтації. КП не дуже відрізняється від значень у вільному просторі, а при повороті на 30° збільшується поступово більш помітно.

Таблиця 2

Залежність коефіцієнта посилення антени Kathrein 735147 від відстані між антенами при рознесеному прийомі

Відстань, м	Нормальна орієнтація		Анени повернуті на 30°	
	КП, дБ	Азимут НМІ, град	КП, дБ	Азимут НМІ, град
2	18,96	0	18,96	0
3	19,18	3	19,78	358
4	19,10	1	19,56	34
5	19,04	0	19,38	350

При збільшенні відстані між антенами коефіцієнт посилення починає спадати, прагнучи, для обох випадків, до значення у вільному просторі.

#### Висновки

1. Для знаходження оптимальної оцінки кута приходу  $\alpha$  за багатьма вимірюваними значеннями частинної фази необхідно дотримання таких умов максимуму функції правдоподібності:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \ln [L(\varphi | \alpha)]}{\partial \alpha} &= 0 \\ \frac{\partial^2 \ln [L(\varphi | \alpha)]}{\partial \alpha^2} &< 0 \end{aligned} \right\},$$

де  $L$  – функція невідомого параметра, функція правдоподібності.

Звідки маємо вираз:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \ln [L(\varphi | \alpha)]}{\partial \alpha} &= \\ &= \frac{1}{\sigma_0^2} \sum_{i=1}^N \left( 2\pi \frac{B_i}{\lambda} \sin \alpha - 2\pi k_i - \hat{\varphi}_i \right) \left( 2\pi \frac{B_i}{\lambda} \cos \alpha \right); \\ \frac{2\pi}{\lambda} \sum_{i=1}^N B_i^2 \sin \alpha - 2\pi \sum_{i=1}^N k_i B_i - \sum_{i=1}^N \hat{\varphi}_i B_i &= 0. \end{aligned}$$

Таким чином, оптимальний алгоритм оцінки кута приходу сигналу  $\alpha^0$  за вибіркою оцінок фаз  $\hat{\Phi} = [\hat{\varphi}_1, \hat{\varphi}_2, \dots, \hat{\varphi}_N]$  буде виглядати так:

$$\alpha_{opt} = \arcsin \left[ \frac{\lambda \sum_{i=1}^N (2\pi k_i + \hat{\varphi}_i) B_i}{2\pi \sum_{i=1}^N B_i^2} \right] = \arcsin \left[ \frac{\lambda \sum_{i=1}^N \Delta \hat{\Phi}_i B_i}{2\pi \sum_{i=1}^N B_i^2} \right].$$

Однак безпосереднє застосування такої оцінки неприпустимо, оскільки для її обчислення необхідно знати коефіцієнти невизначеності фаз  $k_i$

для кожної із баз відповідно. Спочатку повинна бути вирішена задача знаходження величин коефіцієнтів  $k_i$  для усунення невизначеності у вимірюванні повної фази  $\Delta\Phi_i$ , алгоритм розв'язку якої викладений вище.

2. Аналізуючи отримані в результаті розрахунків діаграми направленості дані, можна зробити висновки:

– при нормальній орієнтації антен форма діаграми направленості в горизонтальній площині у разі зміни відстані змінюється незначною мірою та зі збільшенням дистанції між антенами ступінь викривлення зникає.

При повороті антен на  $30^\circ$  ситуація помітно змінюється. Форма діаграми направленості в горизонтальній площині суттєво викривлюється, зберігаючи, однак, чітко виражену направленість;

– із збільшенням відстані між антенами, що розглядаються, форма діаграми починає встановлюватись і на відстані 4 м набуває форми, подібні до діаграми направленості у вільному просторі.

Таким чином обґрунтовано наступні рекомендації щодо встановлення та подальшого процесу експлуатації антен:

– якість узгодження антени з лінією передачі залежить від відстані між антенами і від їхньої орієнтації. Зі збільшенням відстані між антенами узгодження поліпшується.

При повороті антен узгодження помітно погіршується;

– при повороті антен погіршуються спрямовані властивості панельних антен – істотно спотворюється форма діаграми спрямованості в горизонтальній площині.

Під час дослідження було виявлено, що суттєвий вплив на зміни діаграми направленості в горизонтальній площині в подібних ситуаціях надає труботійник для встановлення антени.

### Список літератури

1. Васильев В.Н., Гуров И.П. Компьютерная обработка сигналов в приложении к интерферометрическим системам. – СПб: БНВ, 1998. – 324 с.
2. Исмаиру А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах: Пер. с англ. – М.: Мир. – 1981. – 317 с.
3. Климашов И.А. Антенны для базовых станций сотовой связи // Сети и системы связи. – 2002. – №2. – С. 40–45.
4. Петровский А.А. Влияние оттяжек мачт на характеристики направленности антенн базовых станций // Мобильные системы. – 2001. – № 5. – С. 17–20.
5. Коган Б.Л. О поляризационных характеристиках зеркальных антенн // Журн. радиоэлектроники. – 1999. – №9. – С. 22–25.
6. Быстров Р.П., Петров А.В., Соколов А.В. Миллиметровые волны в системах связи// Журн. радиоэлектроники. – 2000. – №5. – С.101–106.
7. Соколов В.В., Филимонов Е.Б., Пыльцов В.А., Фомин А.Н. Характеристики направленности антенн базовых станций мобильной связи // Электромагнитные волны и электронные системы. – 1996. – № 1. – С. 56–63.
8. Гольденберг Л.М., Матюшкин Б.Д. Цифровая обработка сигналов. – М.: Радио и связь, 1985. – 240 с.
9. Радиотехнические системы / Ю.П. Гришин, В.П. Ипатов, Ю.М. Казаринов и др. – М.: Высш. шк., 1990. – 287 с.

Стаття надійшла до редакції 14.12.04.

Н.А. Виноградов, Ю.Н. Правик

Определение направления прихода сигнала с помощью неэквидистантной линейной антенной решетки в сети мобильной связи

Исследованы конструктивные особенности антенн. Предложен алгоритм определения направления прихода сигнала с помощью неэквидистантной линейной решетки расстояниями между элементами (базами), которые больше, чем длина полуволны сигнала. Разработана частотно-территориальная методика установления антенн базовых станций.

M.A. Vinogradov, J.N. Pravik

Definition of a direction of arrival of a signal with the help by the linear aerial of a lattice in a network of mobile communication

Are investigated design feature of aeriels. The algorithm of definition of a direction of arrival of a signal with the help of a linear lattice of distances between elements (bases) is offered, in large length of a signal Is developed there is a technique of an establishment of aeriels of base stations.